

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-127336

(43)Date of publication of application : 11.05.2001

(51)Int.Cl.

H01L 31/107

(21)Application number : 11-305286

(71)Applicant : NATL SCIENCE COUNCIL OF
ROC

(22)Date of filing : 27.10.1999

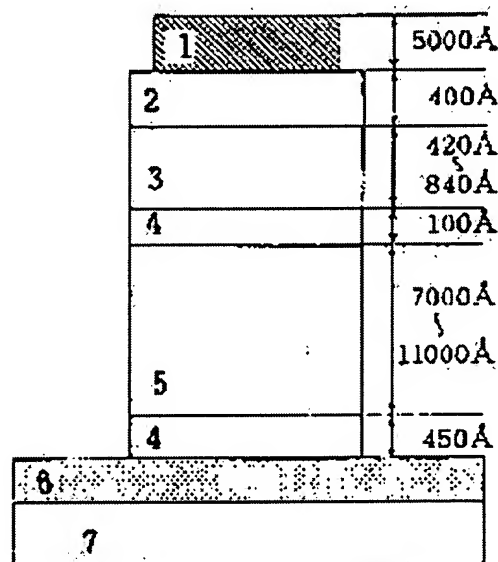
(72)Inventor : HO ENKON
RI KONKEN
RI KANGEN

(54) ELECTRONIC AVALANCHE PHOTODIODE OF ABSORPTION/ MULTIPLICATION SEPARATION-TYPE OF HIGH GAIN

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To manufacture and provide the electronic avalanche photodiode of the absorption/multiplication separation-type of a high gain with the mild condition of a low processing temperature by using a comparatively simple manufacture process from an inexpensive material, and to provide a photodiode with high sensitivity and high response speed which is especially suitable as a device used for an optical communication system.

SOLUTION: The electronic avalanche photodiode of the absorption/ multiplication separation-type of a high gain is formed of a substrate, an absorption layer which is formed on the substrate and is formed of amorphous silicon germanium (a-Si1-XgeX:H), a multiplication layer which is formed on the absorption layer and is formed of amorphous silicon (a-Si:H), and an electrode layer which is formed on the multiplication layer and is formed of aluminium.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-127336
(P2001-127336A)

(43) 公開日 平成13年5月11日 (2001.5.11)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テマコード* (参考)

H 0 1 L 31/107

H 0 1 L 31/10

B 5 F 0 4 9

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平11-305286

(22) 出願日 平成11年10月27日 (1999. 10. 27)

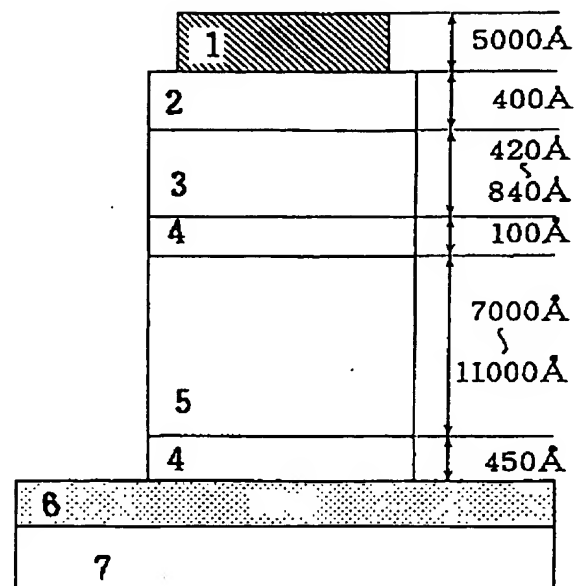
(71) 出願人 594001063
行政院国家科学委员会
台湾・台北市和平東路二段106号18樓
(72) 発明者 方 炎坤
台湾台南市安南区長和街三段38巷6号
(72) 発明者 李 坤憲
台湾台中市北区后庄路24号
(72) 発明者 李 ▲甘▼原
台湾台南縣後壁鄉長安村64-7号
(74) 代理人 100090941
弁理士 藤野 清也 (外2名)
F ターム (参考) 5F049 MA08 MB05 NB01 SE02 SE04
SE05 SS01 WA01

(54) 【発明の名称】 高利得の吸収/増倍分離式の電子なだれフォトダイオード

(57) 【要約】

【課題】 低コストの材料から、比較的簡単な製造プロセスを用い、低い処理温度の穏和な条件下に、高利得の吸収/増倍分離式の電子なだれフォトダイオードを製造し提供すること。また、高感度、高応答速度であり、特に、光通信システムなどに用いるデバイスとして好適なフォトダイオードを提供すること。

【解決手段】 本発明は、基板と、該基板上に形成された、非晶質珪素ゲルマニウム ($a\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$) よりなる吸収層と、該吸収層上に形成された、非晶質珪素 ($a\text{-Si:H}$) よりなる増倍層と、該増倍層上に形成されるアルミニウムなどなる電極層とからなる高利得の吸収/増倍分離式の電子なだれフォトダイオードである。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板と、該基板上に形成された、非晶質珪素ゲルマニウム ($a\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ 、式中 x はゲルマニウム原子の含有量を示す。) よりなる吸収層と、該吸収層上に形成された、非晶質珪素 ($a\text{-Si:H}$) よりなる増倍層と、該増倍層上に形成された電極層とを少なくとも有することを特徴とする高利得の吸収/増倍分離式の電子なだれフォトダイオード。

【請求項 2】 基板が、ガラス板に透明の導電性酸化物を蒸着することによって形成されたものである請求項 1 に記載の高利得の吸収/増倍分離式の電子なだれフォトダイオード。

【請求項 3】 吸収層が、 n + タイプ非晶質珪素に真性の非晶質珪素ゲルマニウムを堆積することによって形成されたものである請求項 1 又は 2 に記載の高利得の吸収/増倍分離式の電子なだれフォトダイオード。

【請求項 4】 増倍層が、 n + タイプ非晶質珪素材に真性の非晶質珪素を堆積することによって形成されたものである請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の高利得の吸収/増倍分離式の電子なだれフォトダイオード。

【請求項 5】 透明の導電性酸化物が、酸化すずインジウム (ITO, Indium-Tin-Oxide) である請求項 2 乃至 4 のいずれかに記載の高利得の吸収/増倍分離式の電子なだれフォトダイオード。

【請求項 6】 非晶質珪素ゲルマニウム ($a\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$) のゲルマニウム原子含有量の x 値が、0.48 以下であり、波長が 525nm 乃至 820nm の赤色光乃至赤外線を吸収する請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の高利得の吸収/増倍分離式の電子なだれフォトダイオード。

【請求項 7】 電極層が、アルミニウムからなる請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の高利得の吸収/増倍分離式の電子なだれフォトダイオード。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、高利得の吸収/増倍分離式の電子なだれフォトダイオードに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 光ファイバー通信は、現在の通信工業の新潮流であり、光ファイバーが間もなく電気ケーブルに取って代わり主要な通信メディアになると予見される。光センサーはこの光ファイバー通信システムをはじめ自動制御機器、コンピュータ端末装置等において光信号を受信、検出する役目を担当している。各種の光センサーが開発されてきているが、光通信のように高速、高感度が要求される分野では、いわゆる電子なだれフォトダイオード (avalanche photodiode: 以下、APD と略することもある) が従来より光センサーの一つとして知られている。

【発明が解決しようとする課題】

【0003】 従来の電子なだれフォトダイオードは、例えば、1984年にCapasso.FらがElectronics Letters、第20巻第15号、第635～637ページに発表した吸収/増倍分離式の電子なだれフォトダイオード (SAM APD, Separate Absorption and Multiplication)、又は1991年にRavi KuchibhotlaらがJournal of Lightwave Technology、第9巻第7号の第900～905ページに発表した電子なだれフォトダイオード (PIN APD) などがある。しかしながら、これらは、大部分がII-VI族又はIII-V族の高価な材料より作られ、材料調達コストが高く、材料の取得が困難である。更に、これらの製造プロセス、例えば分子線エピタキシ (MBE, Molecular Beam Epitaxy) 又は液相エピタキシ (LPE, Liquid Phase Epitaxy) がかなり複雑なため、また、部材の製造プロセスにおける処理温度がかなり高いため、部材の特性に悪影響を及ぼすことがある。本発明は、これらの欠点を鑑みて、新しい代用品を探し、低温度下で製造可能で、コストが安価であるものを提供することをその課題の一つとしている。

【0004】 一方、1990年にJ.W.HongらがIEEE Transactions on Electron Devices、第37巻第8号の第1804～1809ページに発表した非晶質珪素材料は安価で、製造プロセスにおいて比較的低温下で、大面積のものを製造することが可能であるなどの長所を有する。また、S.B.HwangらがIEEE Transactions on Electron Devices、第40巻第4号第721～726ページに発表した非晶質珪素材料は、格子不一致現象がなく、エネルギーギャップが容易に変調でき、長波長の吸収に利するなどの長所を有する。しかしながら、今まではまだ非晶質珪素材料を用いて製造された電子なだれフォトダイオードは見当たらない。本発明は、前記従来の電子なだれフォトダイオードの欠点を解消するものであり、低コストな非晶質珪素を主な材料として、簡単なプロセスで、比較的穏和な条件 (例えば、低い処理温度) 下で製造でき、しかも、高速、高感度な電子なだれフォトダイオードを提供することを課題とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】 本発明は、従来の電子なだれフォトダイオード、及びその製造における問題を解消し、非晶質珪素によって製造された電子なだれフォトダイオードに関するものである。具体的には、従来の電子なだれフォトダイオードにおける吸収層と増倍層とを分離することによって、暗電流 (Dark Current) を低減すると共に、光利得値を向上する。本発明による正孔入射式の吸収/増倍分離式電子なだれフォトダイオードは、16ボルト (V) のバイアス電圧と光照射パワー $1\mu\text{W}$ の場合で、その光利得値が686にも達するので、長距離光通信への応用に最適である。また、従来の電子なだれフォトダイオードの高い処理温度と複雑な製造プロセス及び高い原料調達コストと比較して、本発明は製

造プロセスが簡単であると共に、低い処理温度であり、かつ低コストな原料を用いることができるなどの利点を有するため、経済性に富む発明である。

【0006】すなわち、本発明は、高利得の吸収/増倍分離式の電子なだれフォトダイオードであって、基板と、該基板上に形成された、非晶質珪素ゲルマニウム ($a\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$) よりなる吸収層と、該吸収層上に形成された、非晶質珪素 ($a\text{-Si:H}$) よりなる増倍層と、該増倍層上に形成された電極層とを有することを特徴とする。好ましい態様としては、前記基板は、ガラス板に透明の導電性酸化物を蒸着することによって形成される。また、前記吸収層は、 n^+ タイプ非晶質珪素に真性 (intrinsic) の非晶質珪素ゲルマニウムを堆積し積層することによって形成されると共に、前記増倍層は、 n^+ タイプ非晶質珪素に真性の非晶質珪素材を堆積し積層することによって形成される。また、前記透明の導電性酸化物は酸化すずインジウム (ITO, Indium-Tin-Oxide) である。また、前記非晶質珪素ゲルマニウム ($a\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$) のゲルマニウム原子含有量の x 値は、0.48以下であり、この範囲に設定することによって、吸収ピーク波長が525nm乃至820nmの赤色光から赤外線を吸収する受光素子を調製することができる。 x の値としては、0.05~0.45、特に0.10~0.40がより好ましい。なお、吸収層と増倍層の n^+ タイプ非晶質珪素は、基板の導電性酸化物 (ITO) 薄膜の上に、吸収層の非晶質珪素ゲルマニウム層の上にそれぞれ積層されて形成される。

【0007】以下に、添付図面を参照して本発明をより詳しく説明する。

【0008】

【発明の実施の態様】本発明のAPDは、以下のようにしてつくることができる。予め酸化すずインジウムをメッキしたガラス板よりなる基板を、きれいに洗浄してから、プラズマ助長化学気相成長 (Plasma-Enhanced CVD) システムにセットし、順に、 $n^+\text{-a-Si:H}$ / $i\text{-a-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ / $n^+\text{-a-Si:H}$ / $i\text{-a-Si:H}$ / $p^+\text{-a-Si:H}$ の5層の非晶質珪素層又は非晶質珪素ゲルマニウム層を積層、形成する。最後に、電極として熱蒸着等によってアルミニウムなどの電極層をメッキして形成する。これは面積が1.8mm²程度の円板でよい。なお、ここでいうメッキとは被処理物に、蒸着、スパッタ等を含む手段で金属を析出、堆積させて金属薄膜層を形成する広義のメッキを指す。本発明のAPDの詳しい積層構造の断面と各層の厚さを模式的に図1に示した。

【0009】APDデバイスの製造プロセス (例えば、PECVD) において、処理温度と圧力と高周波照射の負荷電力は、それぞれ次に示すような条件で行うことができる。

(1) $i\text{-a-Si:H}$ を成長する場合、250℃、1Torr、50Watt

(2) $i\text{-a-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ を成長する場合、250℃、0.5 Torr、40Watt

また、成長用のガスは、 SiH_4 (25% in H_2) と、 SiH_4 (25% in H_2) + GeH_4 (47.8% in H_2) を用いればよい。それぞれの層の厚さは堆積速度によって制御できる。例えば、 $i\text{-a-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ の堆積速度は160Å/min、 $i\text{-a-Si:H}$ の堆積速度は60Å/min程度が好ましい。また、 $n^+\text{-a-Si:H}$ 又は $p^+\text{-a-Si:H}$ を成長させる場合は、成長用のガスとして例えば $\text{SiH}_4 + \text{PH}_3$ などを用いて周知の方法で行うことができる。

【0010】 $i\text{-a-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ 材を利用する理由は、その低エネルギーギャップの特性を利用して吸収層を構成し、それによって入射光を吸収して光電流を生じ、放出する。また、 $i\text{-a-Si:H}$ を増倍層として利用する理由は、その高エネルギーギャップの特性を利用して電子なだれ作用を増倍することによって光電流を増大し、光利得値を向上する。本発明は、 $i\text{-a-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ の x 値を変更することによってエネルギーギャップを変調して、吸収する光の波長 (特に、ピーク波長) をコントロールすることができるので、その使用範囲を適宜調整し、用途その他によって適切な波長に適合させることができる。

【0011】本発明に好適な正孔入射式の吸収/増倍分離式電子なだれフォトダイオードの作動原理を、図2を参照しながら、以下説明する。まず、アルミニウムの電極端に負電圧を付与すると共に、酸化すずインジウム端をアースする。Poisson方程式から分かるように、大部分のバイアス電圧が $i\text{-a-Si:H}$ に印加されている。そして、他の一部のバイアス電圧が $i\text{-a-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ 層に印加されている。入射光はガラス基板側より入り、 $i\text{-a-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ 層 (すなわち、吸収層) に吸収されて電子・正孔ペアを生じる。それから、これらの電子・正孔ペアがこの層に印加されている電界によって有効に分離され、すなわち、正孔は負電圧に吸引されて、 $i\text{-a-Si:H}$ 層 (増倍層) に移行する。そこで、大電界による増倍なだれ作用の影響を受けて、さらに多くの電子・正孔ペアを生じ、正孔が $p^+\text{-a-Si:H}$ 層へ移行し、同時に、電子が $n^+\text{-a-Si:H}$ 層へ移行する。このように電子・正孔ペアを生じた後、分離した正孔が吸収層より増倍層へ注入されることが電子なだれ現象の発端となるので、この現象を利用したフォトダイオードが正孔入射式の吸収/増倍分離式電子なだれフォトダイオード (SAM APD) と称される。前記説明から分かるように、本発明は下記のような利点を有する。

(1) 簡単な製造プロセスと低調達コストの原材料とによって光電子 (又は、オプトエレクトロニクス) 部材を製造でき、特に非晶質珪素材は、前記低コストに加えて大面積な光電子部材を製造することができるなどの利点を有し、更に、材料の成長過程にプラズマ化学気相成長 (例えば、PECVD) システムを利用することができる。このため、比較的低い温度 (250℃) で薄膜層

を成長させることができるので、部材の特性に悪影響を及ぼすことを避けられる。

(2) 高エネルギーギャップのa-Si:H材によって増倍層を構成し、大部分の電界がこの層に印加されているので、大幅に増倍なだれ作用を増加でき、光利得値を向上できる。

(3) 低エネルギーギャップのi-a-Si_{1-x}Ge_x:H材によって吸収層を構成し、一部の電界しかこの層に印加されないの、暗電流を効果的に減少でき、熱干渉を避けることができ、フォトダイオードの光検出ミスを防止することが可能であり、高感度と高速応答特性を得ることができる。

(4) i-a-Si_{1-x}Ge_x:HのX値を変更することによって、容易にエネルギーギャップを変調できるので、異なる波長の光を吸収することが可能になり、受光素子として多方面の用途に利用することができる。特に長波長の光通信への応用に好適である。

【0012】

【実施例】まず、PECVD装置を用いて、非晶質珪素n⁺-a-Si:H/真性の非晶質珪素ゲルマニウムi-a-Si_{1-x}Ge_x:H/非晶質珪素n⁺-a-Si:H/真性の非晶質珪素i-a-Si:H/非晶質珪素p⁺-a-Si:Hの層を順にガラス基板の予めメッキした酸化すずインジウム薄膜の上に成長、形成する。なお、i-a-Si_{1-x}Ge_x:HのX値を例えば0.3にし、かつi-a-Si_{1-x}Ge_x:H層の厚さを堆積速度によって7000Åに制御する。また、i-a-Si:H層の厚さを420Åに制御する。最後に、電極として熱蒸着等によってアルミニウムの電極層を形成し、本発明の正孔入射式の吸収/増倍分離式電子なだれフォトダイオードを製造する。その形成された層の断面構造を模式的に図1に示す。光をこの電子なだれフォトダイオードに照射して、図3(a)に示されるように、明らかに光電流があることを測定した。それと共に、図3(b)に示すように従来の増倍電子なだれフォトダイオードの比較実験を行った。図3

(a)及び(b)から両者のダイオードの間にはっきりした差があることが分る。なお、図3(a)において、横軸はITOをアースしてアルミニウム電極に負荷した負バイアス電圧(V)を示し、縦軸は光を照射して得られた光電流(mA)を示す。パラメータの光照射パワーは、上から下へ100、50、20、10及び5μWであり、図3(b)には0μW(無照射)の結果(すなわち、暗電流)も示している。また、比較実験に用いた従来の増倍電子なだれフォトダイオードとしては、ガラス基板のITO薄膜に、p⁺-a-Si:H(450Å)、i-a-Si_{1-x}Ge_x:H(7000~11000Å)、n⁺-a-Si:H(400Å)及び電極としてアルミニウム(5000Å)を順次積層、形成したPIN APDを用いた。また、図4は、負バイアス電圧16Vにおいて光照射パワーの強さを変えて照射を行って得られた光利得値(縦軸)と光照射パワー(横軸)との関係を示すものである。なお、

光利得値(G)は、次式

$$G = [(I_p - I_d) / q] / (P_{in} / h\nu)$$

で定義される値である。式中、I_pは光照射下における放出光電流(photocurrent under illumination)、I_dは暗電流、qは電子の電荷(electron charge)、P_{in}は光照射パワー(incident light power)、そしてhνは入射光エネルギー(energy of the incident radiation)を表す。図4から、本発明(a)の光利得値は、従来の増倍なだれフォトダイオード(PIN APD: (b))より大きいことが分かる。特に、光照射パワーが1μW、負バイアス電圧が16Vの場合、本発明の光利得値は686にも達した。本発明の正孔入射式の吸収/増倍分離式電子なだれフォトダイオードのこの特性は特に長距離光通信への利用に好適である。

【0013】図5は、光照射パワー1μWにおける印加バイアス電圧と光利得値との関係を示すものである。同図から、印加する負バイアス電圧の増加に従って、対応する光利得値も増加することが分かる。この負バイアス電圧の増加は増倍なだれ層(i-a-Si:H層)に増倍なだれ作用の発生を誘導し、光電流の増大、及び光利得値の向上をもたらしている。図6は、印加バイアス電圧と暗電流との関係を示すものであり、印加する負バイアス電圧の増加に従って、暗電流も増加することが分かる。バイアス電圧を増加すると、部材自身の暗電流も増大し感度の低下を招くことがあるので注意を要する。しかしながら、図6の実験データから分かるように、負バイアス電圧16Vの場合、暗電流が25μAしかなく、一方、光照射パワー1μW及び負バイアス電圧16Vの条件下で光利得値が686にも高められる(図4参照)ので、本発明のフォトダイオードは、低暗電流と高光利得値といった相反する要求を共に満足するものである。

【0014】i-a-Si_{1-x}Ge_x:HのX値を変更することによって、エネルギーギャップを容易に変調でき、異なる波長の光を吸収できる。実験からX値を0~0.48に変化すると、そのスペクトルの吸収ピーク波長の値は525~820nmになることが認められた。図7は、X=0.3の場合の吸収スペクトルの波長と感度の強度を示す図であり、このときの吸収ピーク値は700nm(赤色光)である。図8に応答速度実験を行った結果を示す。同図に示されるように、負バイアス電圧14Vとロード抵抗14kΩの場合で、上昇時間(光入射時の応答時間)は143.5μsecであり、降下時間(光遮断時の応答時間)は385.5μsecである。なお、応答時間は、電圧変化の最大値と最小値の差を100%としたとき10%点から90%点の間の電圧変化に要した時間である。

【0015】

【発明の効果】本発明は、非晶質珪素材及び非晶質珪素ゲルマニウム材を用い、吸収層と増倍層とを分離して形成されたアバランシュフォトダイオード(APD)であ

るから、従来のAPD比較して、原材料を容易に、安価に入手でき、また、比較的簡単な製造プロセスで、特に低い処理温度で製造することができ、更に、本発明のAPDは、低い暗電流、高い光吸収利得といった特色を有するなどの効果を示す。オプトエレクトロニクス機器、情報ハイウェイなどの光通信システムに用いるデバイスとして好適であり、有用である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の高利得の吸収/増倍分離式の電子なだれフォトダイオード(SAM APD)の積層断面を説明する模式図である。

【図2】 本発明のSAM APDのエネルギー帯と電界とその作動原理を示す模式図である。

【図3】 光照射パワーをパラメータとする場合のバイアス電圧と光電流の相関を示す特性曲線図であり、

(a) は本発明の正孔入射式のSAM APDの例であり、(b) は従来式のPIN APDの例である。

【図4】 本発明のSAM APD (a) と従来式PIN APD (b) との光照射パワーに対応する光利得値

の比較を示す図である。

【図5】 本発明のSAM APDの光利得値と負バイアス電圧との関係を示す図である。

【図6】 本発明のSAM APDの暗電流と負バイアス電圧との関係を示す図である。

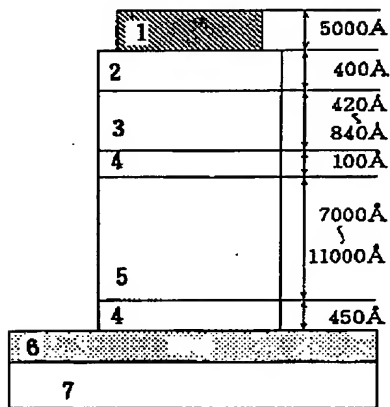
【図7】 本発明のSAM APDの吸収スペクトルの波長と感応強度を示す図である。

【図8】 本発明のSAM APDの、負バイアス電圧14Vにおける、応答時間を示す図である。なお、横軸1目盛りは100μsec、縦軸1目盛りは100mVである。

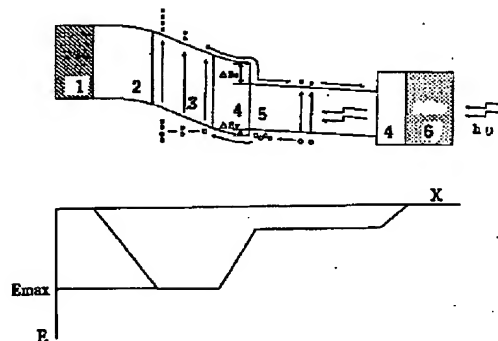
【符号の説明】

- 1 アルミニウム層
- 2 p⁺-a-Si:H層
- 3 i-a-Si:H層
- 4 n⁺-a-Si:H層
- 5 i-a-Si_{1-x}Ge_x:H層
- 6 酸化すズインジウム(ITO)層
- 7 ガラス層

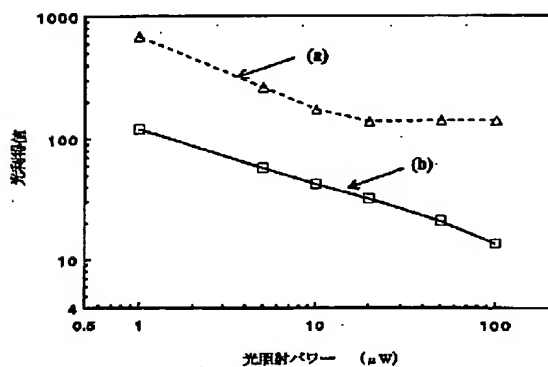
【図1】



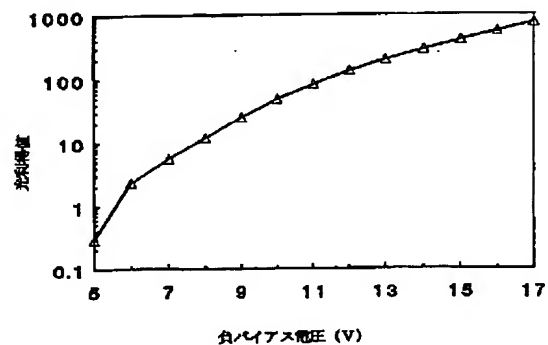
【図2】



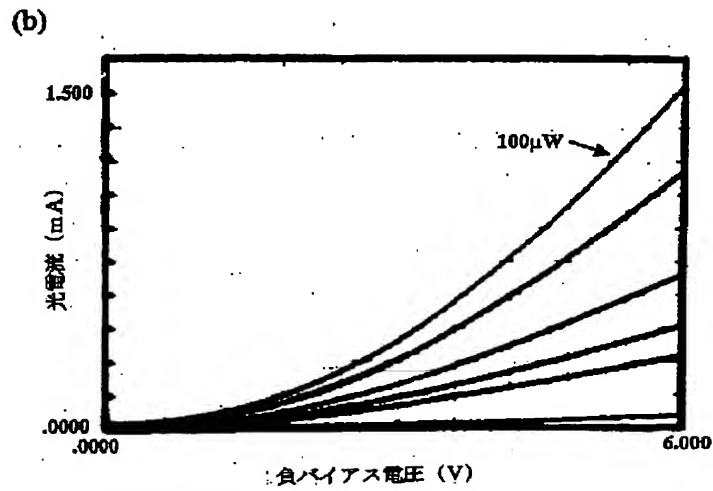
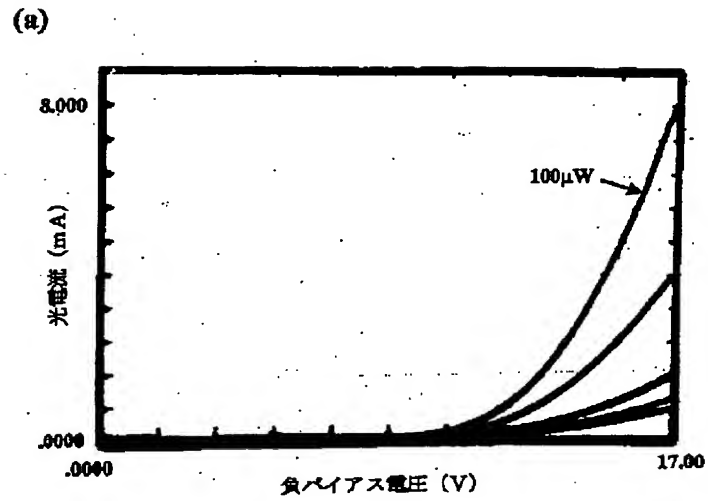
【図4】



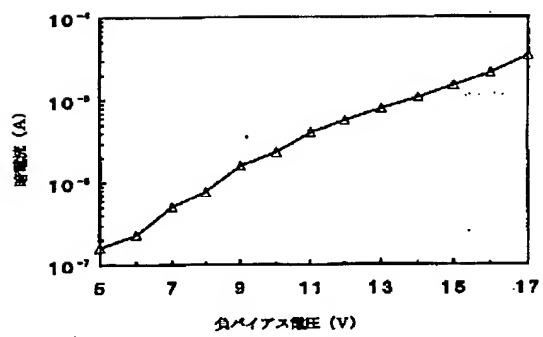
【図5】



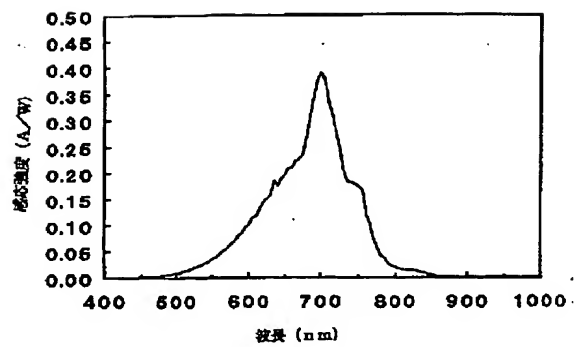
【図3】



【図6】



【図7】



【図8】

